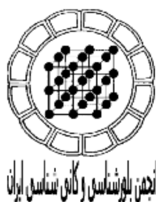
مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

سال بیست و چهارم، شمارهٔ اول، بهار ۹۵، از صفحهٔ ۱۹ تا ۳۲



سنگ‌نگاری و شیمی کانی‌ها در دایک‌های پگماتیتی- آپلیتی نواری واقع در شرق بروجرد

صدیقه سلامی*، علی اصغر سپاهی‌گرو، محمد معانی‌جو

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

(دریافت مقاله: ۹۳/۱۰/۲۷ ، نسخه نهایی: ۹۴/۲/۲۵)

چکیده: دایک‌های پگماتیتی- آپلیتی موجود در شمال‌شرقی استان لرستان و در ۲۵ کیلومتری شرق شهرستان بروجرد، دارای سه منطقه‌ی اصلی هستند که از خارج به داخل عبارتند از منطقه‌ی گرافیکی، منطقه‌ی نواری و منطقه‌ی هسته‌ای، که به خوبی اثر پیشرفت تبلور تفریقی در پگماتیت‌ها را نشان می‌دهند. بررسی‌های ریزپردازشی انجام شده روی کانی‌های تورمالین، پلاژیوکلاز و مسکوویت هر سه منطقه نیز صورت گرفت. تورمالین‌های منطقه‌ی حاشیه دارای ترکیب شورلیت تا فوئیتیت و تورمالین‌های منطقه‌ی نواری دارای ترکیب فوئیتیت هستند که هر دو در دسته‌ی تورمالین‌های ماگمایی قرار می‌گیرند. این تورمالین‌ها در نمودار FeO/FeO+MgO نسبت به MgO دارای Fe# بین ۰/۸ تا ۱ هستند، که نشان دهنده‌ی تشکیل آن‌ها در شرایط ماگمایی و عدم دخالت گرماب‌های خارجی است. ترکیب پلاژیوکلازهای آنالیز شده در هر سه منطقه، غنی از آلبیت است و ترکیب میانگین آن‌ها به ترتیب عبارتند از، منطقه‌ی حاشیه ($Ab_{98.05}$)، منطقه‌ی نواری ($Ab_{98.78}$) و منطقه‌ی مرکزی ($Ab_{98.43}$)، که حاکی از تفریق بالای صورت گرفته در ماگمای خاستگاه است.

واژه‌های کلیدی: *شیمی کانی‌ها؛ تفریق ماگمایی؛ پگماتیت- آپلیت نواری؛ بروجرد.*

مقدمه

اگر چه پگماتیت‌ها اغلب سنگ‌های درشت بلورند، ولی گاهی در حاشیه دارای واحدهای ریزدانه‌ی آپلیتی هستند، که ممکن است این آپلیت‌ها حالت لایه‌ای یا توده‌ای داشته باشند. از حاشیه به سمت مرکز پگماتیت‌ها، نرخ هسته‌بندی، اندازه‌ی بلورها و بافت‌های موجود تغییر می‌کنند. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته ارتباط تنگاتنگی بین نرخ هسته‌بندی و اندازه‌ی بلورها با مقدار کاهش دمای ماگما، ناشی از میزان بخار آب موجود در مذاب وجود دارد [۱]. روند تغییرات بافتی در پگماتیت‌ها، از حاشیه به مرکز تقریباً ثابت است و به ترتیب شامل بافت‌های با هم‌رشدی گرافیکی، آپلیت‌های لایه‌ای و توده‌ای در حاشیه، سپس بلورهای درشت دانه در منطقه‌ی میانی و سرانجام بلورهای بسیار درشت کوارتز و فلدسپات در بخش مرکزی هستند [۲]. آپلیت‌های لایه‌ای یکی از شکل‌های مورد توجه در پگماتیت‌ها هستند که شامل دنباله‌ای از لایه‌های تیره و روشن هستند. نوارهای روشن اغلب غنی از مسکوویت و پلاژیوکلاز بوده، در حالی‌که نوارهای تیره غنی از تورمالین و حاوی فلدسپات پتاسیم تشکیل شده‌اند [۳]، گاهی نیز در لایه-های تیره، گارنت به فراوانی یافت می‌شود [۴]. در بررسی‌های قبلی صورت گرفته در منطقه [۵-۹]، پگماتیت‌های تورمالین‌دار موجود از نظر ژئوشیمی، سنگ‌نگاری و سال‌سنجی مورد بررسی قرار گرفته‌اند، اما هدف از این پژوهش بررسی دقیق ساختار پگماتیت- آپلیت‌های نواری و شیمی کانی‌های موجود در آنهاست.

*نویسنده مسئول، تلفن-نمابر: ۳۸۳۸۱۴۶۰ -۰۸۱، نمابر:؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟، پست الکترونیکی:Sedigheh.Salami91@gmail.com

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.2.4]

روش پژوهش

طی بررسی‌های صحرایی ۱۰۰ نمونه‌ی دستی از پگماتیت‌ها برداشت و از ۲۰ نمونه پگماتیتی مقطع نازک تهیه و بررسی شدند. به منظور بررسی شیمی کانی‌ها در منطقه‌های مختلف پگماتیت- آپلیت‌های مورد بررسی؛ آنالیز ریزپردازشی روی ۵ مقطع نازک از مناطق مختلف آن‌ها صورت گرفت که طی آن کانی‌های تورمالین (۱۱ نقطه)، موسکوویت (۱۸نقطه) و پلاژیوکلاز (۱۱ نقطه) مورد آنالیز قرار گرفتند (جدول‌های ۱-۳). این آنالیزها، از سوی شرکت فرآوری مواد معدنی کرج با آنالیز کننده‌ی نقطه‌ای مدل SX100، ساخت شرکت Cameca فرانسه؛ در شرایط ولتاژ ۱۵ kV، فشار Torr ۴×۱۰^{-۷} و آمپراژ ۲۰nA انجام گرفت. سپس با استفاده از نرم افزارهای رایانه‌ای مانند AX و Mincalculation نمودارهای لازم ترسیم و تفسیر شدند.

موقعیت منطقه‌ی زمین‌شناسی

منطقه‌ی مورد بررسی در شمال‌شرقی استان لرستان و در ۲۵ کیلومتری شرق شهرستان بروجرد، قرار گرفته است. این منطقه در حد فاصل عرض‌های جغرافیایی″۳۵ '۴۵ °۳۳ و″۱۰ '۵۵ °۳۳ شمالی و طول‌های جغرافیایی ″۱۵ '۵۰ °۴۸ و″۰۵ '۰۱ °۴۹ شرقی قرار دارد (شکل ۱) [۱۰]. در پهنه‌بندی ساختاری ایران، این منطقه بخشی از پهنه‌ی سنندج- سیرجان به حساب می‌آید. بیرون‌زدگی‌های پگماتیتی منطقه بیشتر به صورت دایک‌هایی با روند شمال‌غربی- جنوب‌شرقی هستند (شکل ۲- الف).

جدول ۱ آنالیز ریزپردازشی تورمالین‌های موجود در نمونه پگماتیتی برداشت شده از بروجرد. H_2O به روش عنصرسنجی محاسبه شده است.

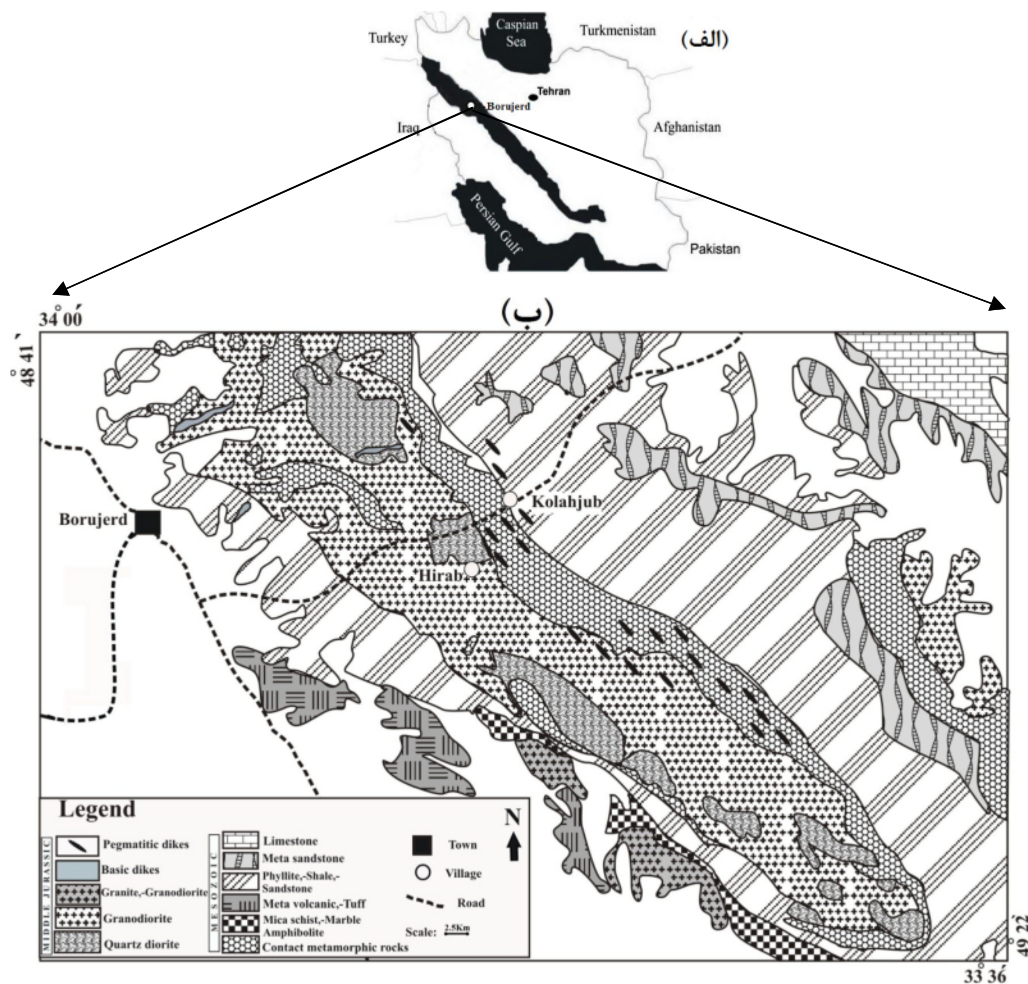
Sample	1b				2b			3D			
Oxide	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۴
F	۰٫۲۹	۴٫۰۹	۰	۰	۰٫۴۲	۰	۰	۱٫۰۲	۰	۰	۰٫۰۴
Na_2O	۱٫۷۱	۰٫۸۱	۱٫۷۵	۱٫۶۴	۱٫۵۱	۱٫۶۸	۱٫۵۴	۰	۰	۰	۰
K_2O	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۳
MgO	۱٫۰۹	۰٫۸۹	۰٫۷	۱٫۲۶	۰٫۵۵	۰٫۶۲	۰٫۶۷	۰٫۷۵	۰٫۹۳	۰٫۸	۰٫۸۴
CaO	۰٫۱۲	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱۳	۰٫۰۸	۰٫۱۱	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۰۹	۰٫۱۲	۰٫۰۷
MnO	۰٫۲	۰٫۲	۰٫۲۷	۰٫۲۴	۰٫۲۸	۰٫۲۹	۰٫۳۲	۰٫۲۷	۰٫۳۱	۰٫۲۹	۰٫۲۵
FeO	۱۲٫۴۷	۱۲٫۷۸	۱۳٫۴۹	۱۲٫۹۵	۱۳٫۳	۱۳٫۶۶	۱۳٫۵۹	۱۳٫۵۱	۱۳٫۶۵	۱۳٫۳۵	۱۳٫۸۲
H_2O^*	۲٫۶۵	۱٫۵۹	۲٫۷۹	۲٫۷۴	۲٫۵۵	۲٫۸	۳٫۰۴	۲٫۲۸	۲٫۶۶	۲٫۷۵	۲٫۶۴
Al_2O_3	۳۴٫۵۸	۳۴٫۶۱	۳۴٫۲	۳۳٫۶۳	۳۴٫۰۴	۳۳٫۹۴	۳۴٫۰۸	۳۴٫۷۲	۳۵٫۷۷	۳۴٫۹۳	۳۴٫۵۵
SiO_2	۳۵٫۷	۳۵٫۴	۳۵٫۴۸	۳۵٫۶۴	۳۵٫۴۷	۳۵٫۲۹	۳۵٫۶۷	۳۶٫۰۹	۶۶٫۹۶	۳۴٫۹۳	۳۵٫۴۴
TiO_2	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۸۱	۰٫۷۲	۰٫۷۴	۰	۰	۰
B_2O_3	۱۰٫۶۹	۱۰٫۶۹	۱۰٫۶۵	۱۰٫۶۷	۱۰٫۳۸	۱۰٫۷۴	۱۰٫۷۳	۱۰٫۳۴	۱۰٫۳۸	۱۰٫۴۱	۱۰٫۶۸
total	۹۹٫۵۵	۱۰۱٫۲	۹۹٫۴۸	۹۸٫۹۳	۹۸٫۶۲	۹۹٫۹۸	۱۰۰٫۴۸	۹۹٫۸۶	۹۸٫۵۶	۹۷٫۶۱	۹۸٫۳۶
Number of cations on the basis of 31 Oxygens											
F	۰٫۱۵۲	۲٫۲۵۳	۰	۰	۰٫۲۲۷	۰	۰	۰٫۵۴۳	۰	۰	۰٫۰۲
Na	۰٫۵۶۰	۰٫۲۷۲	۰٫۵۷۲	۰٫۵۳۵	۰٫۴۹۶	۰٫۵۵۲	۰٫۴۹۴	۰	۰	۰	۰
K	۰٫۰۱	۰٫۰۰۸	۰٫۰۱	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۸	۰٫۰۸	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۶
Mg	۰٫۲۷۵	۰٫۲۳۰	۰٫۱۷۳	۰٫۳۱۷	۰٫۱۳۴	۰٫۱۵۳	۰٫۱۶۱	۰٫۱۸۴	۰٫۲۳۵	۰٫۲۰۴	۰٫۲۰۵
Ca	۰٫۰۲	۰٫۰۱۰	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱۶	۰٫۰۲۰	۰٫۰۱
Mn	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۳۱	۰٫۰۴	۰٫۰۴۰	۰٫۰۳	۰٫۰۴۱	۰٫۰۴۱	۰٫۰۳
Fe	۰٫۷۶۲	۱٫۸۵۴	۱٫۹۱	۱٫۸۴۲	۱٫۹۱۴	۱٫۹۴	۱٫۹۰۷	۱٫۹۲	۱٫۹۳	۱٫۹۱۱	۱٫۹۷
OH	۲٫۹۹۴	۱٫۸۴۴	۳٫۱۶۷	۳٫۱۱	۲٫۹۲	۳٫۱۷۴	۳٫۴۰	۲٫۵۹	۳٫۰۲۴	۳٫۱۵	۳٫۰۰۷
Al	۶٫۹۰۶	۷٫۱۰۵	۶٫۸۴۵	۶٫۷۴۶	۶٫۹	۶٫۸۰	۶٫۷۴۰	۶٫۹۷	۶٫۹۸۲	۷٫۰۶۵	۶٫۹۴۸
Si	۶٫۰۵۱	۶٫۱۷۲	۶٫۰۲	۶٫۰۷	۶٫۱۰۶	۶٫۰۱	۵٫۹۸	۶٫۱۵۶	۶٫۱۰۱	۶٫۰۰۱	۶٫۰۴۵
Ti	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۱۰۲	۰٫۰۹	۰٫۰۹۲	۰	۰	۰
B	۳٫۱۲۷	۳٫۲۱۷	۳٫۱۱۶	۳٫۱۳	۳٫۰۸۴	۳٫۱۵۳	۳٫۱۰۷	۳٫۰۴۷	۳٫۰۵۵	۳٫۰۸۸	۳٫۱۴۰

جدول ۲ آنالیز ریزپردازشی سدیم فلدسپات‌های موجود در نمونه پگماتیتی برداشت شده از بروجرد آنالیزها از حاشیه به سمت مرکز توده است.

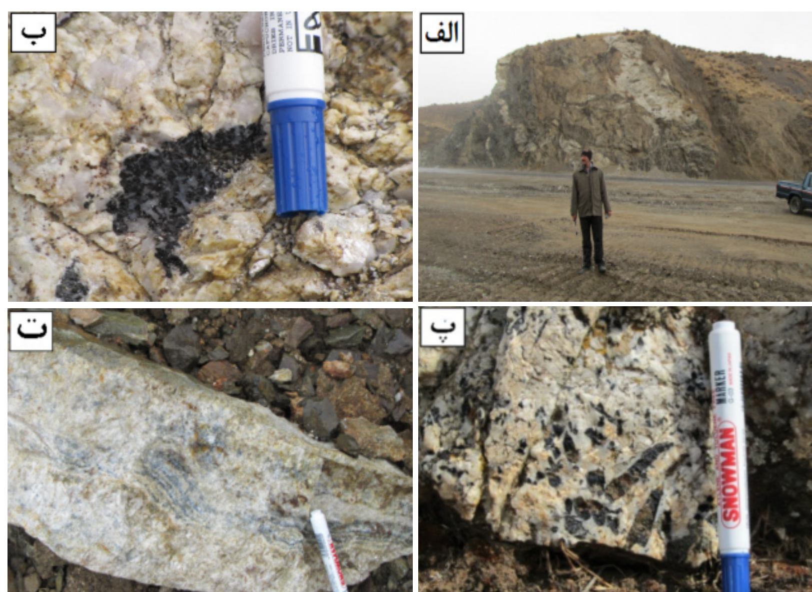
Sample	1b				3D			4C			
Oxide	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۴
F	۰	۰	۰٫۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Na_2O	۱۱٫۹۶	۱۲٫۵۴	۱۲٫۲۲	۱۲٫۰۵	۱۲٫۰۸	۱۱٫۲۱	۱۱٫۳۲	۹٫۹	۱۰٫۷۸	۱۰٫۹۲	۱۱٫۲۸
K_2O	۰٫۰۶	۰٫۰۵	۰٫۰۷	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰	۰	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۳
MgO	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰	۱	۲	۰٫۰۱	۰	۰	۰
CaO	۰٫۲۷	۰٫۵۱	۰٫۵۳	۰٫۹۲	۰٫۳	۰٫۲۷	۰٫۳۴	۰٫۳۷	۰٫۴	۰٫۲۱	۰٫۳
MnO	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰
FeO	۰٫۱۱	۰٫۰۲	۰	۰٫۰۹	۰٫۰۳	۱٫۰۳	۰٫۰۳	۰	۰٫۰۳	۰	۰
Al_2O_3	۱۹٫۷۲	۲۱٫۱۹	۲۰٫۱۱	۲۰٫۴۶	۲۰٫۷۲	۱۹٫۷۸	۱۹٫۲۹	۱۹٫۶۶	۱۹٫۸	۱۹٫۹۵	۲۰٫۵۴
SiO_2	۶۶٫۷۸	۶۶٫۱۶	۶۶٫۳۸	۶۶٫۲۲	۶۵٫۹۵	۶۵٫۶۷	۶۵٫۳۵	۶۷٫۴۲	۶۶٫۹۶	۶۷٫۵۸	۶۶٫۹۸
TiO_2	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۲	۱٫۰۵	۰	۰٫۰۳	۰
total	۹۸٫۹۱	۱۰۰٫۴۸	۹۹٫۵۲	۹۹٫۷۹	۹۹٫۱	۹۹٫۹۶	۱۰۰٫۳۳	۹۸٫۴۶	۹۸٫۰۱	۹۸٫۷۳	۹۹٫۱۳
Number of cations on the basis of 8 Oxygens											
F	۰	۰	۰٫۰۲۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Na	۱٫۰۰۷	۱٫۰۶۴	۱٫۰۴۸	۱٫۰۲۸	۱٫۰۳۴	۰٫۹۵۸	۰٫۹۶۳	۰٫۸۴۷	۰٫۹۲۶	۰٫۹۳۲	۰٫۹۶۱
K	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۱	۰	۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱
Mg	۰٫۰۰۰۵	۰٫۰۰۰۵	۰٫۰۰۰۵	٫۰۰۰۵	۰	۰٫۰۶۳	۰٫۱۲۹	۰٫۰۰۰۵	۰	۰	۰
Ca	۰٫۰۱	۰٫۰۲۳	۰٫۰۲۳	۰٫۰۴۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱۵	۰٫۰۱۵	۰٫۰۱۸	۰٫۰۰۷	۰٫۰۱۳
Mn	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۲	۰
Fe	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۰۵	۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۱	۰٫۰۳۷	۰٫۰۰۱	۰	۰٫۰۰۱	۰	۰
Al	۱٫۰۳	۱٫۰۹۳	۱٫۰۴۸	۱٫۰۶۳	۱٫۰۷۹	۱٫۰۲۷	۰٫۹۹۸	۱٫۰۲۲	۱٫۰۳۵	۱٫۰۳	۱٫۰۶۴
Si	۲٫۹۶۸	۲٫۹۰۱	۲٫۹۳۷	۲٫۹۲۲	۲٫۹۱۸	۲٫۸۹۹	۲٫۸۷۰	۲٫۹۷	۲٫۹۷۴	۲٫۹۷	۲٫۹۵
Ti	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۳۱	۰٫۰۶۶	۰٫۰۳۴	۰	۰٫۰۰۰۷	۰
Ab	۹۸٫۸	۹۷٫۷	۹۷٫۶۷	۹۵٫۸۹	۹۸٫۹۴	۹۸٫۹۶	۹۸٫۴۶	۹۸٫۰۴	۹۷٫۹۹	۹۹٫۱۵	۹۸٫۵۷
An	۰٫۹۸	۲٫۱۱	۲٫۱۴	۳٫۹۱	۰٫۹۵	۱٫۰۴	۱٫۵۴	۱٫۷۳	۱٫۹	۰٫۷۴	۱٫۳۳
Kf	۰٫۲۲	۰٫۱۹	۰٫۱۹	۰٫۲	۰٫۱۱	۰	۰	۰٫۲۳	۰٫۱۱	۰٫۱۱	۰٫۱

جدول ۳ آنالیز ریزپردازشی موسکوویت‌های موجود در نمونه پگماتیتی برداشت شده از بروجرد. H_2O به روش عنصرسنجی محاسبه شده است.

Sample	1b				2b				3D						4C		
Oxide	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۱	۲	۳
F	۰	۰٫۰۷	۰	۰	۰	۰	۰٫۷۶	۰٫۶	۰	۱٫۰۳	۰	۰	۰٫۶۷	۰	۱٫۴۸	۰	۰
Na_2O	۰٫۶۴	۰٫۴۸	۰٫۶۲	۰٫۴۶	۰٫۹	۰٫۸۵	۰٫۶۹	۰٫۷۴	۰	۰٫۵۶	۰٫۶۷	۰٫۵۲	۰	۰٫۸۳	۰٫۵۱	۰٫۳۷	۰٫۱۳
K_2O	۹٫۷۳	۹٫۷۸	۱۰٫۲۶	۱۰٫۳۹	۱۰٫۵۵	۱۰٫۴۵	۱۰٫۲۳	۱۰٫۱۲	۱۰٫۵۵	۱۱٫۰۱	۱۰٫۹۵	۹٫۹۵	۱۰٫۷۹	۹٫۱۹	۱۰٫۴	۱۰٫۳۵	۹٫۷۹
MgO	۰٫۱۲	۰٫۱۲	۰٫۴	۰٫۱۷	۰٫۱۲	۰	۰٫۱۶	۰٫۱۱	۰٫۱۲	۰٫۰۸	۰٫۱۴	۰٫۱۴	۰٫۰۷	۰٫۱۸	۰٫۱۸	۰٫۴۵	۰٫۱۷
CaO	۰	۰	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۲	۰٫۰۳
MnO	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰	۰
FeO	۰٫۶۹	۰٫۷۴	۰٫۶۴	۰٫۷۹	۰٫۷۸	۰٫۶۵	۰٫۸۷	۰٫۶۹	۰٫۷۷	۰٫۷	۰٫۶۷	۰٫۶۹	۱٫۱۳	۰٫۹	۰٫۹۶	۰٫۷۹	۰٫۸۹
H_2O*	۳٫۲۶	۴٫۱۴	۳٫۳۱	۴٫۲۱	۴٫۲۹	۴٫۲۸	۴٫۷۳	۴٫۰۳	۴٫۲۹	۴٫۷	۴٫۳	۴٫۱۷	۴٫۵۱	۵٫۰۴	۳٫۴	۴٫۲۲	۴٫۵۶
Al_2O_3	۴۱٫۱۳	۳۷٫۸۴	۴۱	۳۸٫۴۹	۳۷٫۵۵	۳۷٫۳۲	۳۶٫۶۴	۳۶٫۹۷	۳۸٫۰۶	۳۷٫۱۵	۳۷٫۴۳	۳۹٫۳۳	۳۵٫۹۱	۳۶٫۲۵	۳۷٫۳۱	۳۷٫۱۷	۳۶٫۶۳
SiO_2	۴۵٫۱	۴۵٫۹۶	۴۴٫۳۱	۴۵٫۸۴	۴۵٫۷۴	۴۵٫۹۱	۴۶٫۰۷	۴۵٫۲۵	۴۵٫۱۵	۴۵٫۴۲	۴۵٫۱۵	۴۴٫۳۶	۴۵٫۵۳	۴۶٫۶۳	۴۶٫۳	۴۷٫۱۱	۴۵٫۹۵
TiO_2	۰	۰	۰٫۴۱	۰٫۱۳	۰	۰	۰	۰٫۵۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
total	۹۹٫۵۵	۹۹٫۱۳	۱۰۰٫۹۶	۱۰۰٫۴۸	۹۹٫۹۶	۹۹٫۵۳	۱۰۰٫۲	۹۹٫۱۱	۹۸٫۹۶	۱۰۰٫۶۵	۹۹٫۱۳	۹۹٫۱۷	۹۸٫۶۳	۹۹٫۰۱	۱۰۰٫۳۹	۱۰۰٫۴۸	۹۸٫۱۵
Number of cations on the basis of 24 Oxygens																	
F	۰	۰٫۰۲	۰	۰	۰	۰	۰٫۳۱۹	۰٫۲۵۱	۰	۰٫۴۳۲	۰	۰	۰٫۲۸۴	۰	۰٫۶۲۴	۰	۰
Na	۰٫۱۵۹	۰٫۱۲	۰٫۱۵۹	۰٫۱۱۱	۰٫۲۳۲	۰٫۲۱۶	۰٫۱۷۵	۰٫۱۸۶	۰	۰٫۱۴۴	۰٫۱۶۹	۰٫۱۲۸	۰	۰٫۰۷۸	۰٫۱۲۹	۰٫۸۷۴	۰٫۰۳۲
K	۱٫۶۴	۱٫۶۵۹	۱٫۷۳۱	۱٫۷۴۵	۱٫۷۸۵	۱٫۷۷	۱٫۷۳۲	۱٫۷۳۵	۱٫۷۹۴	۱٫۸۶۵	۱٫۸۶۹	۱٫۶۹۴	۱٫۸۶۱	۱٫۵۴۳	۱٫۷۸۳	۱٫۷۴	۱٫۶۶۶
Mg	۰٫۰۱۵	۰٫۰۱۶	۰٫۰۷۱	۰٫۰۳۱	۰٫۰۱۶	۰	۰٫۰۲۳	۰٫۰۱۶	۰٫۰۱۶	۰٫۰۰۸	۰٫۰۲۴	۰٫۰۲۴	۰٫۰۰۸	۰٫۰۳۱	۰٫۰۳۲	۰٫۰۸۷	۰٫۰۳۲
Ca	۰	۰	۰٫۰۰۰۷	۰	۰٫۰۰۰۸	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۰۸	۰٫۰۰۰۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۴
Mn	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۰۱۶	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰۷	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰۸	۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰۸	۰٫۰۱۶	۰٫۰۰۰۷	۰٫۰۰۱	۰	۰
Fe	۰٫۰۷۱	۰٫۰۸	۰٫۰۶۳	۰٫۰۷۹	۰٫۰۸	۰٫۰۷۲	۰٫۰۹۵	۰٫۰۷۲	۰٫۰۸	۰٫۰۷۲	۰٫۰۷۲	۰٫۰۷۲	۰٫۱۲۱	۰٫۰۹۵	۰٫۱۰۵	۰٫۰۷۹	۰٫۰۹۶
OH	۲٫۸۸۲	۳٫۶۸	۲٫۹۲۹	۳٫۷۰۶	۳٫۸۱۱	۳٫۸۰۶	۴٫۱۹۱	۳٫۶۲۵	۳٫۸۳	۴٫۱۷۸	۳٫۸۴۴	۳٫۷۱۸	۴٫۰۶۳	۴٫۴۵۴	۲٫۹۹۸	۳٫۷۱۹	۴٫۰۷۴
Al	۶٫۴۱۷	۵٫۹۴۱	۶٫۴۰۸	۵٫۹۸۳	۵٫۸۹۳	۵٫۸۵۷	۵٫۷۳۲	۵٫۸۷۱	۶٫۰۰۳	۵٫۸۲۷	۵٫۹۰۷	۶٫۱۹۲	۵٫۷۲۱	۵٫۶۴۷	۵٫۹۲۴	۵٫۷۸۵	۵٫۷۸۲
Si	۵٫۹۷۱	۶٫۱۲۵	۵٫۸۸۱	۶٫۰۴۷	۶٫۰۹۴	۶٫۱۲۱	۶٫۱۱۵	۶٫۱۰۶	۶٫۰۴۴	۶٫۱۰۱	۶٫۰۵۲	۵٫۹۲۷	۶٫۱۵۲	۶٫۱۷۲	۶٫۲۴	۶٫۲۲۲	۶٫۱۵۲
Ti	۰	۰	۰٫۰۳۹	۰٫۰۰۷	۰	۰	۰	۰٫۰۵۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰



شکل ۱ الف) موقعیت زمین‌شناسی منطقه در نوار سنندج- سیرجان و ب) نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد بررسی، براساس نقشه‌ی ۱/۲۵۰۰۰۰ ورقه خرم آباد، سازمان زمین شناسی ایران [۱۰].



شکل ۲ الف) دایک‌های پگماتیتی- آپلیتی منطقه با روند شمال غربی- جنوب شرقی، ب) گرهک‌های تورمالین تشکیل شده در سطح پگماتیت‌ها، پ) بلورهای درشت و شکل‌دار تورمالین موجود در پگماتیت‌ها، ت) آپلیت‌های نواری در حاشیه‌ی پگماتیت‌ها.

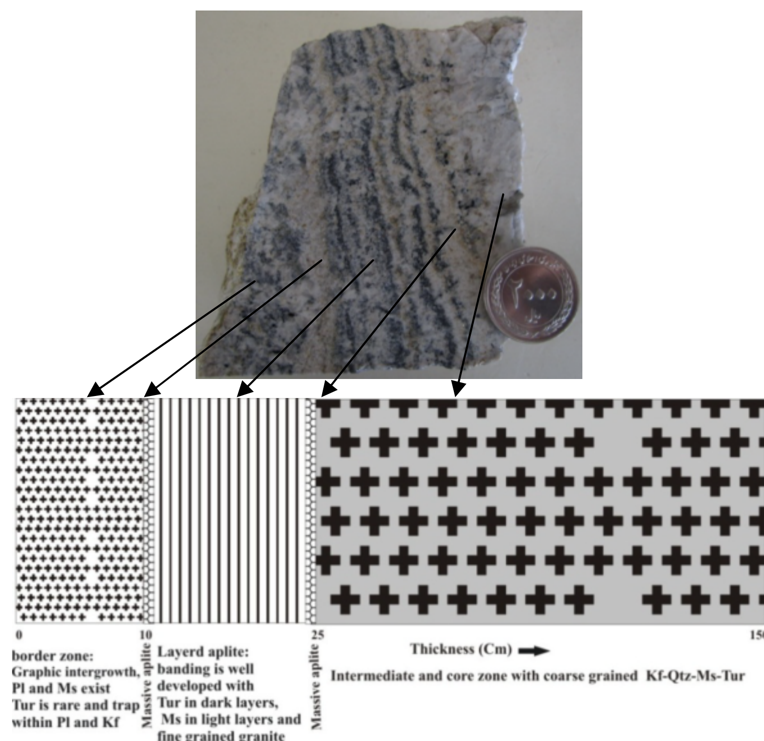
[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.2.4]

رخنمون‌های اصلی این دایک‌ها در مناطقی بین هیراب، قلعه ثمورخان و کله‌جوب دیده می‌شوند، سنگ‌های میزبان آن‌ها، اغلب سنگ‌های دگرگون با درجه‌ی دگرگونی کم تا متوسط (شامل فیلیت و بیشتر شیست‌های آندالوزیت‌دار) هستند. بالاترین بخش از ردیف دگرگونی موجود در منطقه را سنگ‌-های رسی دگرگون شده، موسوم به فیلیت‌های همدان تشکیل می‌دهند، که با توجه به وجود رسوب های آهکی دگرگون شده، با سن اواخر ژوراسیک زیرین در روی آن‌ها، سن نهشته شدن فیلیت‌ها را تریاس بالایی- ژوراسیک زیرین در نظر می‌گیرند [۱۱]. بر اساس سال‌سنجی صورت گرفته توسط [۸،۹] به روش Rb-Sr روی کانی مسکوویت و پتاسیم فلدسپات، توده‌های گرانیتی و پگماتیت‌های منطقه دارای سن کرتاسه میانی تا بالایی هستند، درحالی‌که سال‌سنجی انجام شده توسط [۵، ۷] روی کانی زیرکن به روش U-Pb، سن توده‌های گرانیتی و پگماتیت‌های موجود را ژوراسیک میانی نشان داده است.

توصیف صحرایی و بررسی سنگ نگاری

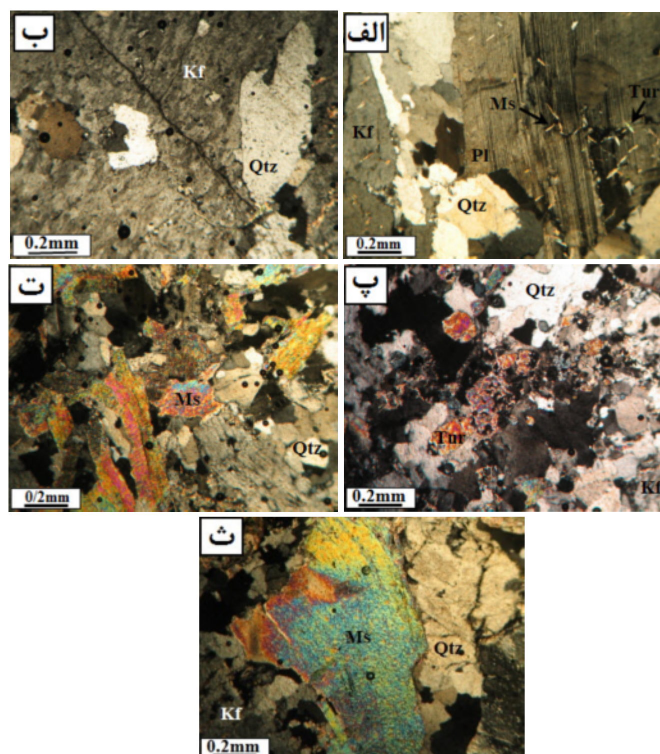
پگماتیت‌های منطقه حاوی کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، پتاسیم‌فلدسپات، تورمالین و موسکوویت هستند. تورمالین‌های موجود گاهی به صورت انباشت در سطح دایک‌های پگماتیتی دیده می‌شوند (شکل ۲- ب)، و گاهی نیز به شکل بلورهای درشت و شکل‌دار در پگماتیت‌ها دیده می‌شود. این تورمالین‌ها به صورت تقریباً یکنواخت و فراوان در دایک‌های مورد بررسی پراکنده هستند (شکل ۲- پ). در آپلیت‌های نواری موجود در حاشیه پگماتیت‌ها نیز، تورمالین موجب شکل‌گیری بافت نواری شده است (شکل ۲- ت و ۳). از آنجا که این ساخت یکی از مباحث مورد توجه در این پژوهش است، لذا سنگ‌نگاری دایک‌های پگماتیتی- آپلیتی موجود در منطقه از حاشیه به مرکز، به شرح زیر مورد بررسی قرار می‌گیرند:

ساختار حاشیه: در این منطقه؛ پلاژیوکلاز، پتاسیم فلدسپات-های پرتیتی و کوارتز فراوان هستند. درون بلورهای پتاسیم فلدسپات و پلاژیوکلاز اغلب ریز بلورهای کشیده‌ی مسکوویت و تورمالین یافت می‌شوند (شکل ۴- الف). هم رشدی گرافیکی هم در نمونه‌ی دستی و هم در مقطع میکروسکوپی قابل مشاهده است (شکل ۴- ب). به عقیده‌ی [۱۲]، ۱- هم رشدی نموداری، ۲- آپلیت‌های توده‌ای و ۳- آپلیت‌های نواری به سه شکل تبلور سریع از مذاب چسبنده، در حاشیه پگماتیت‌ها دیده می‌شوند که در شرایط زیر منحنی آبگونی تشکیل می‌شوند. در طول تشکیل بافت نموداری، انتشار جانبی اجزاء در طول سطح رشد به نحوی است که با پیشرفت تبلور تناوبی بین اجزاء دیده نمی‌شود و باعث افزایش پیشرونده رشد بلورهای پیوسته کوارتز و فلدسپات قلیایی به سمت داخل می‌شود [۱۳].



شکل ۳ روند تغییرات بافتی و کانی‌شناسی در پگماتیت- آپلیت‌های نواری مورد بررسی.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.2.4]



شکل ۴ الف) وجود تورمالین و مسکوویت‌های سوزنی به صورت نفوذ در پلاژیوکلاز و پتاسیم فلدسپات در حاشیه‌ی پگماتیت، ب) تشکیل بافت گرافیکی در حاشیه‌ی پگماتیت‌های مورد بررسی. پ) تمرکز تورمالین در لایه‌های تیره‌ی موجود در آپلیت‌های نواری، ت) تمرکز موسکوویت در لایه‌های روشن موجود در آپلیت‌های نواری، ث) بلورهای درشت مسکوویت، کوارتز و پتاسیم فلدسپات در منطقه هسته پگماتیت. علائم اختصاری بر اساس [۱۲].

آپلیت‌های نواری: در این منطقه، تناوب لایه‌های غنی از تورمالین (شکل ۴- پ) با لایه‌های غنی از مسکوویت (شکل ۴- ت) و لایه‌های گرانیتی ریز دانه، منجر به تشکیل ساخت نواری در آپلیت‌های موجود در حاشیه‌ی پگماتیت‌ها شده است. تورمالین‌های موجود شکل‌دار و فاقد منطقه‌بندی هستند که شاخص تورمالین‌های ماگمایی هستند [۱۴]. در دو سمت این آپلیت‌های نواری، لایه‌ی باریکی از آپلیت‌های توده‌ای دیده می‌شوند که اغلب فاقد تورمالین هستند (شکل ۳). تشکیل آپلیت‌ها ناشی از افزایش سریع نرخ هسته‌بندی، افزایش سرعت رشد و در نتیجه ریزدانه شدن آن‌هاست [۱]. برای تشکیل آپلیت‌های نواری نظرهای متفاوتی وجود دارد، برخی این نظرها شامل موارد زیرند: ۱- آپلیت‌های نواری حاصل جایگزینی ساختارهای دگرنهادی در سنگ‌های قبلی است [۱۶،۱۵]. ۲- آپلیت‌ها اشکال اولیه‌ی تشکیل شده از پگماتیت‌ها هستند که در نتیجه جابه‌جایی ترکیب مذاب از نقطه‌ای با گرمایی کمینه به سمت کوتکتیک آلبیت- کوارتز تشکیل می‌شوند [۱۷]. ۳- این سنگ‌ها حاصل انجماد کانی‌ها در یک مایع چسبنده و غلیظ و ته‌نشست بلورها هستند [۴]. ۴- این سنگ‌ها از گدازه‌های غنی از بخار تشکیل شده‌اند [۱۷،۳]. ۵- تشکیل لایه‌بندی در آپلیت‌ها در اثر جابه‌جایی سطح کوتکتیک کوارتز و قلیایی فلدسپات ناشی از تغییرات فشار بخار آب در پگماتیت‌هاست [۱۸]. ۶- گروهی دیگر علت تشکیل لایه‌بندی در آپلیت‌ها را لایه‌های مرزی انباشته شده در مذاب و در نتیجه جدایش نامتجانس اجزای بین سیال آب‌دار و مذاب باقی‌مانده دانسته‌اند[۳، ۱۹] و دیگری ۷- لایه‌های مرزی انباشته شده در زیر دمای میعانی را عامل اصلی تشکیل لایه‌بندی در آپلیت‌ها می‌داند[۱۳]. همچنین از نظر [۲۰]، لایه‌بندی در پگماتیت‌ها علاوه بر تغییرات کانی‌شناسی، گاهی در اثر تغییرات بافت و اندازه‌ی بلورها نیز، حاصل می‌شود. به جز از مورد اول که خاستگاه این بافت را ثانویه فرض می‌کند، موارد دیگر ممکن است کم و بیش در تشکیل این بافت موثر باشند. از آنجا که تورمالین‌های مورد بررسی هم از نظر ژئوشیمیایی و هم از نظر مدل رشد نسبت به دیواره (عمود بر دیواره) اولیه هستند، بنابراین خاستگاه دگرنهادی برای این ساختار صادق نیست. همچنین چون در طول این ساخت تغییرات کانی شناسی به خوبی مشهود است. بنابراین خاستگاه این ساخت را نمی‌توان

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.2.4]

تغییر اندازه‌ی بلورها دانست. بر این اساس، بهترین نظر در مورد شرایط تشکیل ساخت نواری در منطقه‌ی لایه‌های مرزی انباشته شده در مذاب و در نتیجه جدایش نامتجانس اجزای بین شاره‌ی آبدار و مذاب باقی‌مانده است، این نظر چهار نظر پیش از این را نیز در بر می‌گیرد.

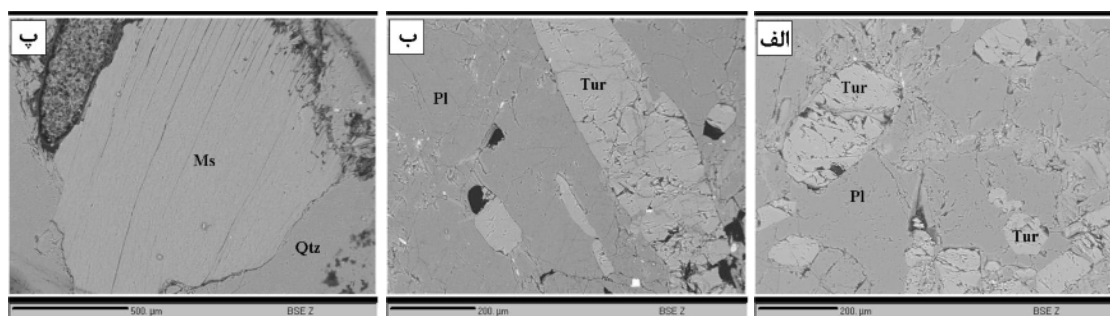
منطقه‌ی میانی و هسته: به سمت منطقه‌ی میانی و سپس هسته‌ی دایک‌های پگماتیتی مورد بررسی، به تدریج اندازه‌ی بلورها درشت‌تر شده (شکل ۴- ث) و از تمرکز پلاژیوکلاز کاسته می‌شود و در عوض میزان پتاسیم فلدسپات بیشتر خواهد شد. پتاسیم فلدسپات‌های موجود در این منطقه نسبت به منطقه‌ی حاشیه‌ای، دارای مقدار ادخال کمتری هستند و نیز بلورهای فلدسپات پرتیتی در آن‌ها کمتر است. از نظر [۱۳]، تشکیل بلورهای درشت در بخش‌های داخلی پگماتیت‌ها ناشی از افزایش تمرکز مواد فرار است که ضریب انتشار Si و Al را در ماگما افزایش می‌دهد.

شیمی کانی‌ها

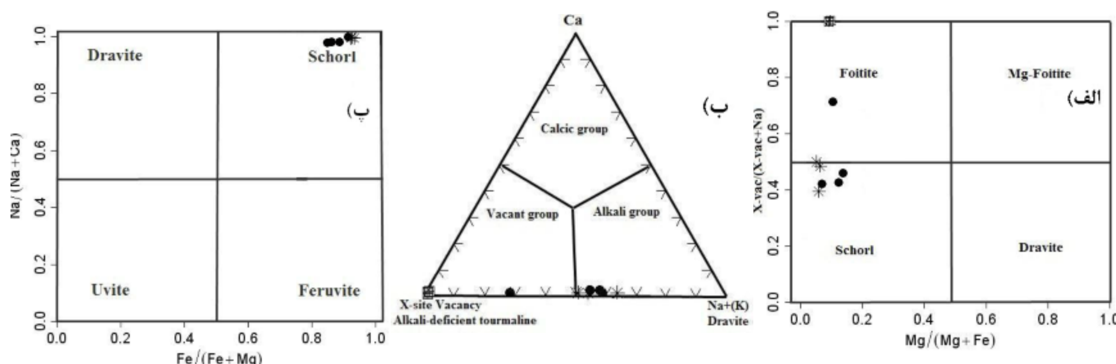
به منظور بررسی شیمی کانی‌های تشکیل دهنده‌ی پگماتیت- آپلیت‌های نواری مورد بررسی، کانی‌های تورمالین، پلاژیوکلاز و مسکوویت از حاشیه خارجی (نمونه‌های 1b)، حاشیه داخلی (نمونه‌های 2b)، منطقه نواری (نمونه‌های3D) و منطقه‌ی هسته (نمونه‌های4C) مورد بررسی قرار گرفتند (شکل۵). (جدول‌های ۱ تا ۳) که تفسیر این بررسی‌ها را به شرح زیر ارائه می‌دهند.

شیمی تورمالین

تورمالین سیلیکات حلقوی B و Al دار است که دارای ترکیب شیمیایی گسترده و متغیری است. این کانی به دلیل پایداری در گستره‌ی وسیعی از تغییرات دما- فشار و ترکیب شیمیایی متنوع، در بررسی‌های سنگ‌شناسی به عنوان یک کانی راهنما به کار می‌رود [۲۱]. برای تشخیص نوع تورمالین‌ها و بررسی تغییرات ترکیبی در نسبت‌های Fe، Mg، Ca، Na و K از نمودار دوتایی X-vac/ X-vac+Na نسبت به Mg/Mg+Fe استفاده شد [۲۲] (شکل۶- الف). براساس این نمودار تورمالین-های حاشیه بیشتر دارای ترکیب شورلیت و تورمالین‌های وابسته به منطقه‌ی نواری بیشتر مایل به ترکیب فوئیتیت هستند که نشان دهنده‌ی خاستگاه ماگمایی هر دو دسته است.



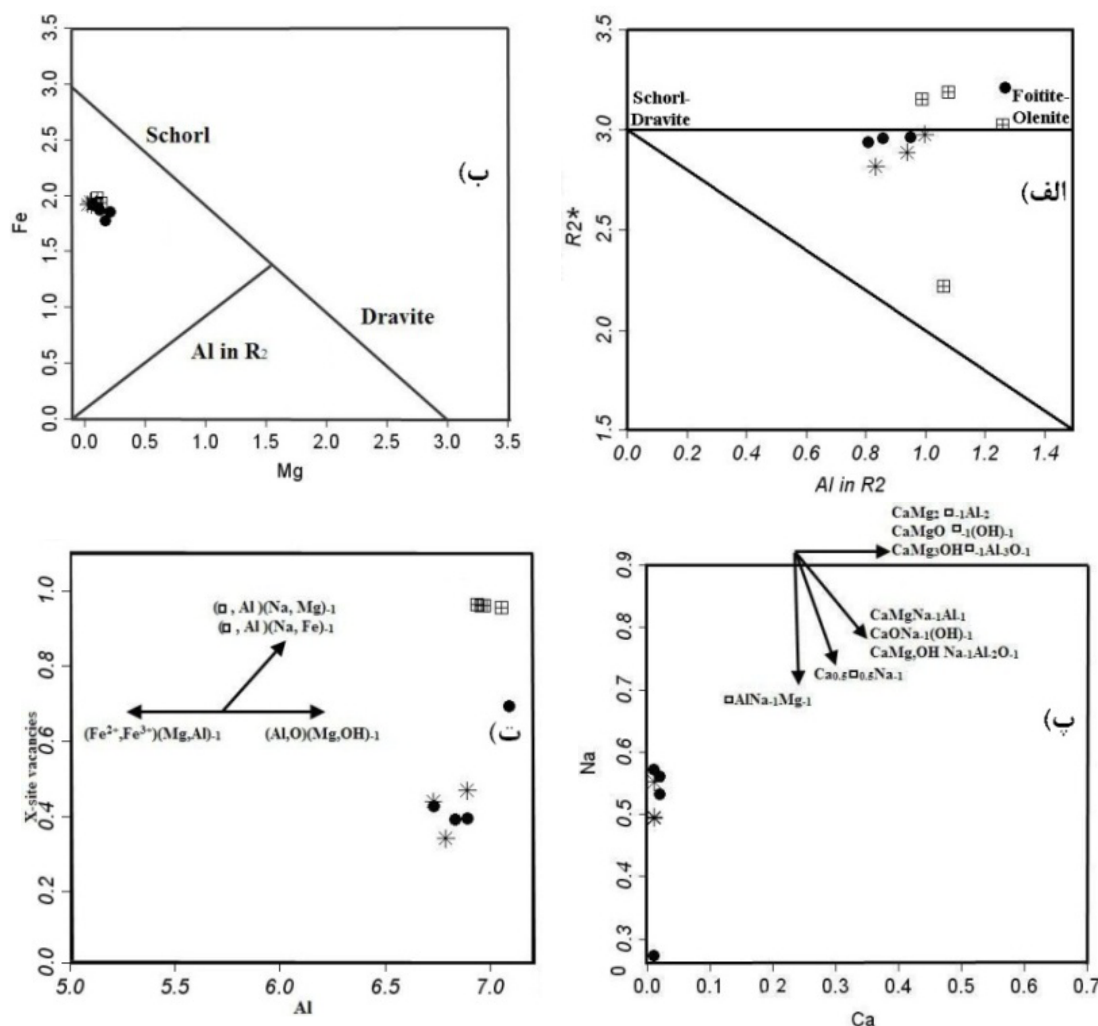
شکل۵ تصاویر BSE از کانی‌های آنالیز شده مورد بررسی: الف و ب تورمالین‌های آنالیز شده وابسته به منطقه آپلیت‌های نواری، پ) مسکوویت‌های موجود در حاشیه پگماتیت‌ها. پ) مسکوویت‌های آنالیز شده وابسته به منطقه هسته پگماتیت‌ها. علائم اختصاری بر اساس [۱۲].



شکل ۶ موقعیت تورمالین‌های مورد بررسی در نمودارهای مربوط به ترکیب تورمالین‌ها، الف) نمودار X- vac/(X- vac+Na) در برابر Mg/(Mg+Fe) [۲۲]. ب) نمودار مثلثی Ca-(X-site vacancy)-Na+(K) [۲۳]، پ) نمودار Na/(Na+Ca) نسبت به Fe/(Fe+Mg) [۲۴]، X-site vacancy=1-(Ca+Na+K)، تورمالین‌های وابسته به حاشیه‌ی خارجی با علامت دایره توپر، حاشیه داخلی با ستاره و منطقه‌ی نواری با مربع شطرنجی نشان داده شده است. X-site vacancy=1-(Ca+Na+K) (میزان فضای خالی در موقعیت X).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.2.4]

براساس مقادیر Na، Ca، K و وجود فضای خالی در موقعیت X، تورمالین‌ها را به سه دسته تورمالین‌های کلسیک، قلیایی و انواعی که موقعیت X آنها خالی است تقسیم می‌کنند [۲۳]. بر اساس این نمودار (شکل۶- ب)، تورمالین‌های حاشیه بیشتر در گستره‌ی قلیایی و تعدادی نیز متمایل به سمت منطقه تهی جایی که نشان دهنده‌ی بالا بودن مقدار Na و K موجود در جایگاه X، در مقایسه با مقدار Ca در تورمالین‌های حاشیه است و تورمالین‌های مربوط به منطقه‌ی نواری دارای مقادیر بسیار اندک Na، K و Ca هستند، لذا در نزدیک راس X-site vacancy قرار می‌گیرند که شاخص تورمالین‌های ماگمایی است [۲۴]، این امر احتمال منشا دگرنهادی و ثانویه بودن این تورمالین‌ها را رد می‌کند. در نمودار دوتایی Na/(Na+Ca) و Fe/(Fe+Mg) [۲۴]، نیز نمونه‌ها در گستره شورلیت قرار می‌گیرند (شکل ۶- پ)، که باز هم نزدیک بودن ترکیب این تورمالین‌ها را به انواع ماگمایی نشان می‌دهد. بنابراین با توجه به ماگمایی بودن این تورمالین‌ها می‌توان بر خاستگاه ماگمایی بافت‌های موجود در حاشیه پگماتیت- آپلیت‌های مورد بررسی نیز تاکید کرد. برای بررسی انواع جانشینی‌های صورت گرفته در ترکیب تورمالین‌ها، از چند نمودار مختلف، استفاده می‌کنیم (شکل ۷)؛ از جمله: نمودار *R2 نسبت به Al in R2 [۲۵]، که برخی نمونه‌ها در بالای خط R2*=3 قرار خواهند گرفت (شکل ۷- الف) که نشان می‌دهد که جایگاه Y آنها پر است و



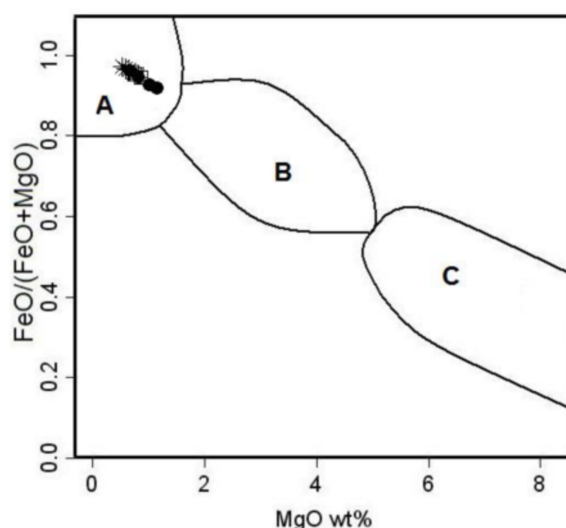
شکل ۷ موقعیت تورمالین‌های مورد بررسی در نمودارهای وابسته به واکنش‌های جانشینی در ترکیب تورمالین‌ها، الف) نمودار *R2 در مقابل Al in R2 [۲۵]، ب) نمودار Fe نسبت به Mg [۲۵]. پ) نمودار Na نسبت به Ca [۲۶]. ت) نمودار Al_{tot} نسبت به X-site vacancy [۲۲]. تورمالین‌های مربوط به حاشیه خارجی با علامت دایره توپر، حاشیه داخلی با ستاره و منطقه نواری با مربع شطرنجی نشان داده شده است.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.2.4]

برخی نمونه‌ها نیز در پایین این خط قرار می‌گیرند که نشان دهنده‌ی نقصان در جایگاه Y است. نقصان در این نمونه‌ها را می‌توان تا حدودی با فعالیت مولفه‌ی جانشینی البائیت Li $Al(Fe, Mg)_{-2}^{+2}$ توجیه کرد. یعنی عملکرد این جانشینی باعث می‌شود که Li و Al جایگزین مقداری از Fe و Mg در موقعیت Y شود. در نمودار Fe نسبت به Mg [۲۵] نیز ترکیب شورل- دراویت روی خط $\sum(Fe+Mg)=3$ قرار می‌گیرند (۷- ب) و همه‌ی نمونه‌هایی که زیر این خط قرار می‌گیرند دارای $\sum(Fe+Mg)<3$ هستند که بیانگر جانشینی Al در موقعیت Y است. بر اساس این نمودار، تورمالین‌های مورد بررسی دارای جانشینی Al در موقعیت Y هستند. بر اساس نمودار Ca نسبت به Na [۲۶]، تورمالین‌های آنالیز شده دارای Ca< ۰٫۱ هستند (۷- پ) که نشانه‌ی مقادیر ناچیز اوویت در ساختار این کانی است. همچنین پراکندگی داده‌های تورمالین در این نمودار نشان می‌دهد که جانشینی‌هایی مانند □ , $AlNa_{-1}Mg_{-1}$ موثر است که حاکی از تشکیل فضاهای خالی در موقعیت X است [۲۶] با توجه به روند مشاهده شده در شکل ۷- ت در تورمالین‌های مورد بررسی بیشتر واکنش کمبودهای قلیایی با فرمول $\{(Mg,Fe)Na\}_{-1}$ {□,Al}، دیده می‌شود.
مقدار کاستی در موقعیت X در تورمالین‌های گرمابی کمتر است و در تورمالین‌های ماگمایی بیشتر است [۲۴]. بر اساس نمودار تغییرات (Fe#) = FeO/FeO+MgO در برابر MgO [۲۷] (شکل ۸)، تورمالین‌ها در درون و نزدیک توده‌ی گرانیتی تشکیل شده‌اند و شاره‌های خارجی در تشکیل آنها نقشی نداشته‌اند. با توجه به نمودارهای سه تایی Al_{50} Al_{50} Mg_{50} $Fe_{(tot)50}$-Al- و Ca-Fe-Mg که سنگ خاستگاه را مشخص می‌کنند؛ تورمالین‌های مورد بررسی در هر دو نمودار، در گستره‌ی گرانیتوئیدهای فقیر از Li و پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آن قرار می‌گیرند (شکل۹).

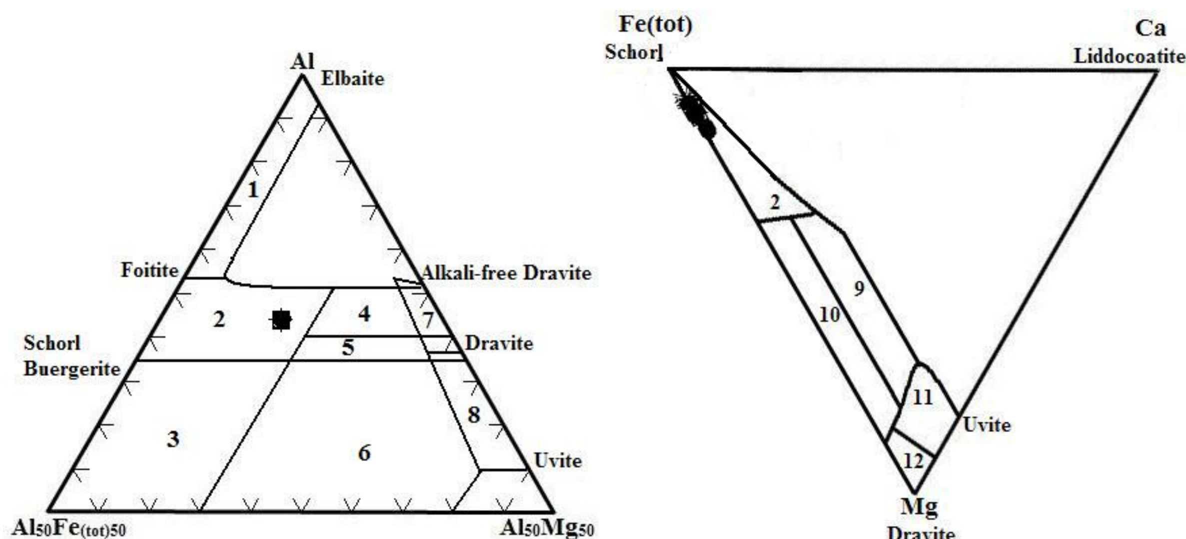
شیمی پلاژیوکلاز

نمونه‌های پلاژیوکلاز از هر سه منطقه (حاشیه، نواری و مرکزی) پگماتیت- آپلیت مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج آنالیز این کانی در جدول ۲ آورده شده‌اند و محاسبه‌ی فرمول ساختاری آن بر اساس ۸ اتم اکسیژن و با استفاده از روش [۲۸] انجام شد که بر این اساس پلاژیوکلازهای هر سه منطقه دارای ترکیب آلبیتی غالب هستند به طوری‌که ترکیب میانگین آلبیت منطقه‌ی حاشیه ($Ab_{98.05}$)، منطقه‌ی نواری ($Ab_{98.78}$) و منطقه‌ی مرکزی ($Ab_{98.44}$)، است (شکل ۱۰). بالا بودن آلبیت در ترکیب این پلاژیوکلازها نشان دهنده‌ی پیشرفت تبلور جدایشی و کم شدن پلاژیوکلاز کلسیک در ماگمای باقی‌مانده است.

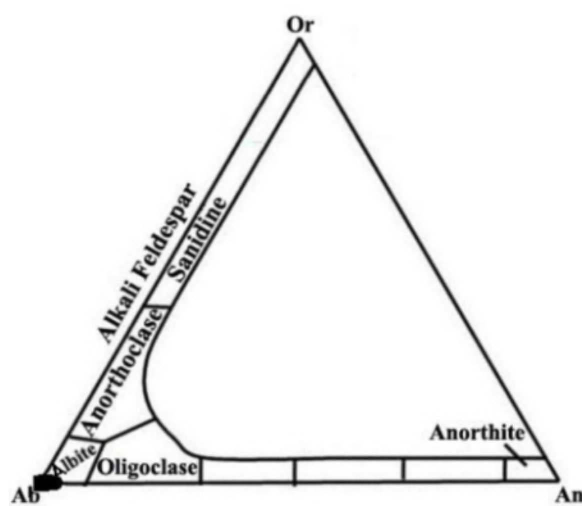


شکل ۸ نمودار FeO/FeO+MgO در مقابل MgO [۲۷]، محدوده‌ی A: شاخص تورمالین‌های درون و نزدیک توده‌ی گرانیتی و نشانگر بسته بودن سیستم ماگمایی و عدم دخالت شاره‌های خارجی در تشکیل تورمالین‌هاست، گستره‌ی B: شاخص تورمالین‌هایی است که در فاصله‌ی نزدیک تا حد واسط توده‌ی گرانیتی قرار گرفته‌اند، هم شاره‌های ماگمایی و هم شاره‌های گرمابی در تشکیل این تورمالین‌ها نقش داشته‌اند، گستره‌ی C: نشان دهنده‌ی تورمالین‌های با فاصله‌ی دور از توده گرانیتی است و دلیل بر خاستگاه خارجی بور و وجود یک سیستم گرمابی دارد. تورمالین‌های وابسته به حاشیه خارجی با علامت دایره توپر، حاشیه‌ی داخلی با ستاره و منطقه نواری با مربع شطرنجی نشان داده شده است.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.2.4]



شکل ۹ موقعیت تورمالین‌های مورد بررسی روی نمودارهای سه تاییAl_{50} $Fe_{(tot)50}$-Al- Al_{50} Mg_{50} و Ca-Fe-Mg [۲۵]، ۱- گرانیتوئیدهای غنی از لیتیم، پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آن‌ها، ۲- گرانیتوئیدهای فقیر از لیتیم، پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آن‌ها، ۳- سنگ‌های کوارتز- تورمالین سرشار از Fe^{+3}، ۴- متاپلیت‌ها و متا پسامیت‌های همزیست با یک فاز اشباع از آلومینیوم، ۵- متاپلیت‌ها و متا پسامیت‌های ناهمزیست با یک فاز اشباع از آلومینیوم، ۶- سنگ‌های کالک‌سیلیکاته، متاپلیت‌ها و سنگ‌های کوارتز- تورمالین سرشار از Fe^{+3} ۷- فرامافیک‌های دگرگون شده با کلسیم پایین و ته نشست‌های دگرگون شده غنی از وانادیم و کروم ۸- متاکربنات‌ها و متا پیروکسنیت‌ها ۹- سنگ‌های کالک-سیلیکاته، متاپسامیت‌ها و متاپلیت‌های غنی از Ca ۱۰- سنگ‌های کوارتز- تورمالین، متاپسامیت‌ها و متاپلیت‌های فقیر از Ca، ۱۱- متاکربنات‌ها ۱۲- اولترامافیک‌های دگرگون شده. تورمالین‌های مربوط به حاشیه خارجی با علامت دایره توپر، حاشیه داخلی با ستاره و منطقه نواری با مربع شطرنجی نشان داده شده است.



شکل۱۰ رده بندی پلاژیوکلازها از ۳ منطقه پگماتیت- آپلیت مورد بررسی برگرفته از [۲۸]. پلاژیوکلازهای وابسته به حاشیه‌ی خارجی با علامت دایره توپر، منطقه‌ی نواری با مربع شطرنجی و منطقه‌ی هسته با مربع توپر نشان داده شده است.

شیمی موسکوویت

مسکوویت در هر سه منطقه پگماتیت- آپلیت مورد بررسی یافت می‌شود: ۱- در منطقه‌ی حاشیه بیشتر به صورت بلورهای سوزنی درون فلدسپات پتاسیم، پلاژیوکلاز و کوارتز دیده می‌شود. حضور مسکوویت در کوارتز خاستگاه اولیه این بلورها را مشخص می‌کند. ۲- در منطقه‌ی نواری به صورت ریز بلور در

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.2.4]

کنار پلاژیوکلاز و کوارتز، نوارهای روشن را تشکیل می‌دهد. چنانکه در قسمت آپلیت‌های نواری گفته شد، خاستگاه تشکیل این بافت و کانی‌های تشکیل دهنده‌ی آن، ماگمایی هستند. ۳- در منطقه‌ی میانی نیز به صورت بلورهای درشت یافت می‌شود. در برخی مناطق نیز بلورهای مسکوویت بصورت اشکال پر دیده می‌شوند که از حاشیه به منطقه‌ی میانی رشد کرده‌اند که شاخص رشد بلورهای مسکوویت در جهت محور a و نشان دهنده‌ی رشد در شرایط ابر اشباع و انتشار کم اجزاء است [۲]. بنابراین مسکوویت‌های موجود در این دایک‌های آپلیتی-پگماتیتی اولیه هستند. از نظر [۲] حضور مسکوویت‌های اولیه در پگماتیت‌ها معمولاً نشان دهنده‌ی پرآلومین بودن ماگمای خاستگاه است که این موضوع با حضور گرانیت‌های نوع S و پرآلومین در منطقه‌ی بروجرد همخوانی دارد [۷]. نتایج آنالیز این کانی در جدول ۳ آورده شده‌اند و محاسبه‌ی فرمول ساختاری آن بر اساس ۲۴ اتم اکسیژن و با استفاده از روش [۲۸] انجام شد. با توجه به فرمول عمومی میکاها $W(X,Y)_{2-3}Z_4O_{10}(OH,F)_2$ (این فرمول بر اساس ۱۲ اتم اکسیژن است) فرمول میانگین مسکوویت‌های موجود در منطقه‌های مختلف بصورت زیر است:

۱- مسکوویت‌های موجود در حاشیه‌ی خارجی (1b)

$W = 0.846K + 0.0685Na = 0.9145$

$X,Y = 0.036Fe + 0.16Mg + 0Mn + 0.005Ti + 0.0005Ca + 2.097[Al]^6 = 2.29$

$Z = 0.997[Al]^4 + 3.003Si = 4 (K, Na)_{0.9145}(Fe, Mg, Mn, Ti, Ca, [Al]^6)_{2.29}([Al]^4, Si)_4O_{10}(OH)_2$

۲- مسکوویت‌های موجود در حاشیه‌ی داخلی (2b)

$W = 0.877K + 0.101Na = 0.978$

$X,Y = 0.039Fe + 0.006Mg + 0.0005Mn + 0.007Ti + 0.001Ca + 1.973[Al]^6 = 2.29$

$Z = 0.946[Al]^4 + 3.054Si = 4 (K, Na)_{0.978}(Fe, Mg, Mn, Ti, Ca, [Al]^6)_{2.026}([Al]^4, Si)_4O_{10}(OH)_2$

۳- مسکوویت‌های موجود در منطقه‌ی نواری (3D)

$W = 0.885K + 0.043Na = 0.928$

$X,Y = 0.042Fe + 0.009Mg + 0.0016Mn + 0Ti + 0.00005Ca + 1.978[Al]^6 = 2.03$

$Z = 0.963[Al]^4 + 3.037Si = 4 (K, Na)_{0.928}(Fe, Mg, Mn, Ti, Ca, [Al]^6)_{2.03}([Al]^4, Si)_4O_{10}(OH)_2$

۴- مسکوویت‌های موجود در منطقه‌ی هسته (4C)

$W = 0.864K + 0.172Na = 1.036$

$X,Y = 0.046Fe + 0.025Mg + 0.0001Mn + 0Ti + 0.001Ca + 2.032[Al]^6 = 2.1$

$Z = 0.898[Al]^4 + 3.102Si = 4 (K, Na)_{1.036}(Fe, Mg, Mn, Ti, Ca, [Al]^6)_{2.1}([Al]^4, Si)_4O_{10}(OH)_2$

که نشان دهنده‌ی تغییرات جزئی کاتیون‌ها در منطقه‌های مختلف‌اند.

بحث و بررسی

پگماتیت‌های گرانیتی بیشتر دارای دو گستره‌ی بافتی هستند: ۱- بافت‌های ناهمسانگرد در منطقه‌های خارجی که شامل واحدهای دانه‌ریز، بافت گرافیکی، بافت نواری و بافت‌های حاصل از رشد یک‌طرفه که تحت تاثیر شرایط زیر منحنی لیکوئیدوس تشکیل می‌شوند. ۲- بافت‌های درشت بلور و توده‌ای در منطقه‌های داخلی که ناشی از تمرکز مواد فرار و در نتیجه افزایش انتشار عناصر Al و Si هستند [۱۳]. با توجه به شیمی کانی‌ها می‌توان خاستگاه تشکیل برخی کانی‌ها را حدس زد؛ برای مثال به عقیده‌ی [۲۲] تورمالین‌های ماگمایی اصولاً دارای ترکیب شورلیت تا دراویت هستند و بر اساس نظر [۲۴]، تورمالین‌های ماگمایی در مقایسه با تورمالین‌های گرمابی دارای مقادیر Al بالاتر و کاستی بیشتر در موقعیت X قرار دارند. همچنین بالا بودن نسبت Fe به Mg در تورمالین نشانه تشکیل آن در شرایط ماگمایی است [۲۹]. تورمالین‌های حاشیه و تورمالین‌های وابسته به منطقه‌ی نواری به ترتیب دارای ترکیب شورلیت- فوئیتیت و فوئیتیت هستند که نشان دهنده‌ی خاستگاه ماگمایی هر دو دسته است (شکل۶- الف). تورمالین‌های منطقه حاشیه در محدوده‌ی قلیایی تا منطقه‌ی X تهی ها و تورمالین‌های مربوط به منطقه‌ی نواری نزدیک راس تهی جا X قرار می‌گیرند که شاخص تورمالین‌های ماگمایی است (شکل۶- ب). بنابراین با توجه به این نتایج بافت نواری موجود در حاشیه‌ی پگماتیت‌ها دارای خاستگاه ماگمایی است. بر اساس نمودار تغییرات (Fe#) = FeO/FeO+MgO در برابر MgO [۲۷] (شکل ۸)، در تورمالین‌ها مقدار Fe# با فاصله گرفتن از توده‌ی گرانیتی کوچک‌تر می‌شود. چنانچه نسبت FeO/(FeO + MgO) در تورمالین‌ها در گستره‌ی ۱ تا ۰٫۸ باشد، نشانگر بسته بودن سیستم ماگمایی، قرار گرفتن تورمالین‌ها در درون و نزدیکی توده‌ی گرانیتی و عدم دخالت

شاره‌های خارجی در تشکیل تورمالین‌هاست. قرار گرفتن این مقدار در گستره‌ی بین ۰٫۸ تا ۰٫۶ شاخص تورمالین‌هایی است که در فاصله‌ی نزدیک تا حد واسط نسبت به توده‌ی گرانیتی قرار گرفته‌اند و نشان‌دهنده‌ی آن است که هم شاره‌های ماگمایی و هم گرماب‌ها در تشکیل تورمالین‌ها نقش داشته‌اند و در صورتی‌که مقدار FeO/(FeO + MgO) کمتر از ۰٫۶ باشد، نشان دهنده‌ی تورمالین‌های با فاصله‌ی دور از توده‌ی گرانیتی است و دلیل بر خاستگاه خارجی بور و وجود یک سیستم گرمابی دارد. بر این اساس و با توجه به قرار گرفتن همه‌ی تورمالین‌های آنالیز شده در قلمرو A این تورمالین‌ها خاستگاه ماگمایی دارند. ترکیب تورمالین‌ها روی نمودارهای سه تایی Al_{50} $Fe_{(tot)50}$-Al- Al_{50} Mg_{50} و Ca-Fe-Mg به نوع شورل نزدیک است (شکل ۹) [۲۵]. نمودارهای ارائه شده در شکل ۹ نشان دهنده‌ی تغییرات Fe و Mg در مقادیر نسبتاً ثابت Al و Ca است. قرارگیری نمونه‌ها در بالای خط شورل- دراویت نشان دهنده‌ی مقدار ناچیز Fe^{+3} در این نمونه‌هاست [۳۰]. بر اساس این نمودارها که سنگ منبع تورمالین را مشخص می‌کنند؛ نمونه‌های مورد بررسی در هر دو نمودار، در محدوده‌ی گرانیتوئیدهای فقیر از Li و پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آن قرار می‌گیرند. با توجه به آن‌که گرانیت‌های بروجرد از نظر شیمیایی پرآلومین هستند [۷] لذا Al لازم برای تشکیل تورمالین‌ها در درون توده و پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آن از خود توده تامین می‌شود، با توجه به ماگمایی بودن این تورمالین‌ها، ماگمای مادر غنی از B بوده است. از آنجا که پگماتیت‌ها و آپلیت‌ها اصولاً در مراحل پایانی تبلور ماگما تشکیل می‌شوند ترکیب پلاژیوکلازهای آنالیز شده بسیار غنی از آلبیت است.

برداشت

در پگماتیت- آپلیت‌های شرق بروجرد، در حاشیه، بافت گرافیکی و نواری و در هسته بلورهای پگماتیتی، از حاشیه به مرکز این دایک‌ها تنوع بافتی و کانی‌شناسی، دیده می‌شوند. آپلیت‌های نواری به‌صورت تناوب لایه‌های غنی از تورمالین با لایه‌های غنی از مسکوویت دیده نیز می‌شود، در مورد چگونگی تشکیل آپلیت‌های نواری، با توجه به شیمی کانی‌های آنالیز شده (تورمالین‌ها)، این بافت اولیه است و مستقیماً از ماگما حاصل شده است و علت تشکیل این بافت لایه‌های مرزی انباشته شده در شرایط زیر منحنی آبگونی است. بلورهای پگماتیتی نیز در اثر تمرکز مواد فرار و در نتیجه افزایش ضریب انتشار Si و Al در ماگما تشکیل شده‌اند. دنباله‌ی بافت‌های موجود به خوبی نشان دهنده پیشرفت تبلور جدایشی ماگما در شرایط پگماتیتی است. تورمالین‌های آنالیز شده از منطقه‌های مختلف پگماتیت- آپلیت‌های مورد بررسی دارای ویژگی‌های تورمالین‌های ماگمایی هستند؛ از جمله این ویژگی‌ها دارا بودن ترکیب شورلیت (Fe/Fe+Mg بالا) تا فوئیتیت (X-site vacancy بالا) و دارا بودن Al بالاست. همچنین همه‌ی تورمالین‌های آنالیز شده در نمودار Fe# در برابر MgO، در قلمرو A قرار می‌گیرند که نشان دهنده، خاستگاه ماگمایی آنهاست. ترکیب تورمالین‌ها روی نمودارهای سه تایی Al_{50} $Fe_{(tot)50}$-Al- Mg_{50} و Ca-Fe-Mg در گستره‌ی گرانیتوئیدهای فقیر از Li و پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آن قرار می‌گیرند. پلاژیوکلازهای آنالیز شده‌ی هر سه منطقه دارای ترکیب آلبیتی هستند، که نشان دهنده پیشرفت تبلور جدایشی ماگما است. مسکوویت‌های آنالیز شده از مناطق حاشیه، نواری و هسته دارای ترکیب تقریباً مشابه با تغییرات جزئی کاتیون‌ها هستند.

مراجع

[1] Fenn P.M., *"The nucleation and growth of alkali feldspars from hydrous melts"*, Canadian Mineralogist 15 (1977) 135-161.

[2] London D., *"Pegmatites"*, Canadian Mineralogist Special Publication 10 (2008) 368.

[3] Rockhold J.R., Nabelek P.I., Glascock M.D., *"Origin of rhythmic layering in the Calamity Peak satellite pluton of the Harney Peak Granite, South Dakota: the role of boron"*, Geochimica et Cosmochimica Acta 51 (1987) 487–496.

[4] Kleck W.D., Foord E.E., *"The chemistry, mineralogy, and petrology of the George Ashley Block pegmatite body"*, American Mineralogist 84 (1999) 695–707.

[۵] احمدی خلجی ا.، *"پترولوژی توده گرانیتوئیدی بروجرد"*، رساله دکتری، دانشکده علوم، دانشگاه تهران (۱۳۸۵).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.2.4]

[۶] میرسپهوند ف.، طهماسبی ز.، شاهرخی س.، احمدی خلجی ا.، خلیلی م.، *"ژئوشیمی و تعیین خاستگاه تورمالین‌های منطقه‌ی بروجرد"*، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، شماره۲ (۱۳۹۱) ص ۲۸۱ – ۲۹۲.

[7] Ahmadi Khalaji A., Esmaeily D., Valizadeh M.V., Rahimpour-Bonab H., *"Petrology and geochemistry of the granitoid complex of Boroujerd, Sanandaj-Sirjan Zone, Western Iran"*, Journal of Asian Earth Sciences 29 (2007) 859–877.

[8] Masoudi F., *"Contact metamorphism and pegmatite development in the region S.W of Arak-Iran"*, Thesis, University of Leeds. England. (1997) 321p.

[9] Masoudi F., Yardley B.W.D., Cliff R.A., *"Rb-Sr geochronology of pegmatites, plutonic rocks and a hornfels in the south- west of Arak, Iran"*, Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran 13(3) (2002) 249-254.

[10] Afsharianzadeh A.M., Sahbaei M., *"1/250000 map of Khorramabad, Geological Survey of Iran (in Persian)"*, (1992).

[۱۱] واعظی‌پور م.ج.، اقلیمی ب.، *"یافته‌های نوین در نهشته‌های ژوراسیک ناحیه لکان (چهار گوش گلپایگان)"*، گزارش داخلی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور(۱۳۶۳).

[12] Kertz R., *"Symbol for rock- forming minerals"*, American Mineralogist 68(1983)277-9.

[13] London D., *"The origin of primary textures in granitic pegmatites"*, Canadian Mineralogist 47 (2009) 697–724.

[14] Pesquera A., Torres-Ruiz J., Gil-Grespo P. P., Velilla N., *"Chemistry and genetic implications of tourmaline and Li-F-Cs micas from the Valdeflores area (Caceres, Spain)"*, American Mineralogist 84 (1999) 55-69.

[15] Cameron E.N., Jahns R.H., McNair A.H., Page L.R., *"Internal structure of granitic pegmatites"*, Economic Geology Monograph 2 (1949) 115.

[16] Jahns R.H., *"The study of pegmatites"*, Economic Geology, 50th Anniversary (1955) 1025–1130.

[17] Jahns R.H., Tuttle O.F., *"Layered pegmatite–aplite intrusive"*, Mineralogical Society of America Special Paper 1 (1963) 78–92.

[18] Jahns R.H., *"Internal evolution of pegmatite bodies"*, Mineralogical Association of Canada Short Course Handbook, vol. 8 (1982) 293-327.

[19] Webber K.L., Falster A.U., Simmons W.B., Foord E.E., *"The role of diffusion controlled oscillatory nucleation in the formation of line rock in pegmatite–aplite dikes"*, Journal of Petrology 38 (1997) 1777–1791.

[20] London D., *"A petrologic assessment of internal zonation in granitic pegmatites"*, Lithos 184–187 (2014) 74–104.

[21] Van hinsberg V.J., Henry D.J., Marschall H.R., *"Tourmaline an ideal indicator of its host environment"*, The Canadian mineralogist, 49 (2011) 1-16.

[22] Slack J.F., Palmer M.R., Stevens B.P.J., Barnes R.G., *" Origin significance of tourmaline-rich rocks in the Broken Hill district, Australia"*, Economic Geology 88 (1993) 505-541.

[23] Hawthorne F.C., Henry D.J., *"Classification of the minerals of the tourmaline group"*, European Journal of Mineralogy 11 (1999) 201-215.

[24] Trumbull R.B., Chaussidon M., *"Chemical and boron isotopic composition of megmatic and hydrothermal tourmalines from the Sinceni granite-pegmaite system in Swaziland"*, Chemical Geology 153 (1999) 125-137.

[25] London D., Manning D.A.C., *"Chemical Variation and Significance of tourmaline from southwest England"*, Economic Geology 90 (1995) 495-519.

[26] Pesquera A., Velasco F., *"Mineralogy, geochemistry and geological significance of tourmaline-rich rocks from the Paleozoic Cinco Villas massif (western Pyrenees, Spain)"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 129 (1997) 53– 74.

[27] Pirajno F., Smithies R.H., *"The FeO/(FeO+MgO) ratio of tourmaline: A useful indicator of spatial variations in granite-related hydrothermal mineral deposits"*, Journal of Geochemical Exploration 42 (1992) 371-381.

[28] Deer W.A., Howie A., Zussman J., *"An introduction to the rock-forming minerals"*, Long man, London (1991) 528p.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.2.4]

[29] Cavarretta G., Puxeddu M., *"Schorl-Dravite-Ferridravite Tourmalines Deposited by Hedrothermal Magmatic Fluids during Early Evolution of the Larderico Geothermal Field"*, Italy. Economic Geology 85 (1990) 1236-1251.

[30] Henry D.J., Guidotti Ch.V., *"Tourmaline as petrogenetic indicator mineral: an example from staurolite-grade metapelites of NW Mains"*, American Mineralogist 70 (1985) 1-15.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.2.4]